

На правах рукописи

СМИРНОВА ЕКАТЕРИНА АНАТОЛЬЕВНА

**СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗМЫВУ ГРУНТОВ
И ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РУСЛА р. ДЕСНА
(в среднем течении)**

25.00.25 – геоморфология и эволюционная география

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань - 2009

Работа выполнена на кафедре физической географии
Брянского государственного университета им. академика И.Г. Петровского

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор
Бастраков Геннадий Викторович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Чалов Роман Сергеевич

кандидат географических наук, доцент
Мозжерин Вадим Владимирович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный
университет водных коммуникаций

Защита диссертации состоится 17 декабря 2009 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.20 по специальности 25.00.25 – Геоморфология и эволюционная география в Казанском государственном университете им. В.И. Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корп. 2, 15 этаж, аудитория 1512.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Лобачевского Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина.

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.081.20
кандидат географических наук, доцент

Ю.Г. Хабутдинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Прочностные свойства руслоформирующих грунтов являются одним из важнейших, но наименее исследованных вопросов в изучении русловых деформаций. Большинство существующих подходов к оценке взаимодействия потока и русла, основанных на использовании показателя “диаметр частиц, слагающих ложе потока”, исходят из посылки, что русло формируется в рыхлых, несвязных отложениях. В результате реки, протекающие в связных пластичных грунтах, выпадают из сферы исследований (Кузьмин, 1973; Карасев, 1975; Мирцхулава, 1988; Чалов, 2005).

Проблема прогноза размыва берегов на локальном уровне путем учёта взаимного влияния потока и русла делает данную работу актуальной, поскольку вопрос количественной оценки прочностных свойств руслоформирующих грунтов остается открытым.

Оценка интенсивности русловых деформаций имеет большое практическое значение при коммуникационном, промышленном, градостроительном освоении приречных территорий. Знание закономерностей развития плановых переформирований русла необходимо для рационального ведения лесопосадочных и лесозаготовительных работ в зоне непосредственного влияния реки. Не предвидение (упущение) возможных изменений русла приводит к нарушению нормального функционирования хозяйственных объектов, экономическому ущербу, ухудшению экологической ситуации.

Значительные площади территории Брянской области располагаются в зоне прямого или косвенного влияния русловых процессов р. Десна. Прямое влияние имеет место в случаях:

- создания экологической напряженности на участках подмыва рекой берегов в черте населенных пунктов (гг. Брянск, Трубчевск, пп. Неготино, Лопушь);
- разрушения мостов и дорог (пп. Удельные Уты, Кокино, дд. Сытенки, Просысово, Гавань);
- сокращения площадей ценных заливных лугов;
- потерь лесных угодий (пойменные дубравы, сосновые боры);
- размыва берегов в местах переходов магистральных нефтепроводов ОАО МН “Дружба” и опор линий электропередач.

Косвенное влияние плановых переформирований русла Десны в среднем

течении проявляется в активизации склоновых процессов (оползней, осыпей), главным образом при подмыве рекой высоких надпойменных террас или коренных склонов (гг. Брянск, Трубчевск, п. Лопушь).

Переформирования русла – одна из причин отсутствия водного сообщения (даже прогулочного) по р. Десна в её среднем течении.

Исследования выполнялись в рамках программы Межвузовского научно-координационного совета по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ им. М.В. Ломоносова.

Цель исследования - анализ и оценка влияния сопротивления размыву руслоформирующих грунтов на интенсивность горизонтальных деформаций русла Десны в среднем течении.

Задачи исследования:

- анализ основных факторов развития горизонтальных русловых деформаций Десны в среднем течении;
- изучение прочностных свойств руслоформирующих грунтов среднего течения Десны, определение их сопротивления размыву;
- выявление особенностей руслоформирующих грунтов, влияющих на их сопротивление размыву;
- выявление основных направлений и оценка интенсивности плановых переформирований русла Десны;
- оценка потенциальной устойчивости русла к размыву на локальном уровне.

Объект исследования - русло р. Десна в среднем течении (от устья р. Габья до пгт. Белая Березка) общей протяженностью 320 км.

Научная новизна работы

- впервые получены данные сопротивления размыву руслоформирующих грунтов в размерности силы;
- установлено влияние особенностей руслоформирующих грунтов на их сопротивление размыву;
- выявлены эмпирические зависимости между сопротивлением размыву и инженерно-геологическими характеристиками руслоформирующих грунтов;
- выявлены основные направления плановых переформирований свободных и вписанных излучин среднего течения Десны и определены темпы смещения русла за период с конца XX по начало XXI вв.;

- определена степень влияния сопротивления размыву на интенсивность смещения берегов.

Практическая значимость работы.

Проведённые исследования позволили оценить степень влияния сопротивления размыву руслоформирующих грунтов на интенсивность плановых переформирований русла, определить потенциальную устойчивость бортов русла к размыву на локальном уровне.

Полученные выводы могут быть полезны при проектировании различных сооружений и коммуникаций, установки опор ЛЭП, прокладки магистральных нефте- и газопроводов, проведении берегоукрепительных мероприятий, планировании лесопосадочных и лесозаготовительных работ на потенциально неустойчивых отрезках русла.

Материалы, используемые в работе.

Работа написана по результатам экспедиционных исследований среднего течения Десны с 2004 по 2008 гг., морфометрическим исследованиям топографических карт и космических снимков и на основе анализа литературных источников.

Исследование включало следующие виды работ:

- полевое изучение руслоформирующих грунтов в пределах ключевых створов с отбором образцов;
- полевое определение сопротивления размыву руслоформирующих грунтов методом свободной компактной струи;
- лабораторный гранулометрический анализ образцов грунта пойменных отложений;
- гидрометрическое исследование русла;
- измерение по топографическим картам и космическим снимкам морфометрических показателей излучин; наложение карт с помощью программных средств MapInfo Professional 7.5 и Easy Trace 7.3 для оценки продольных и поперечных скоростей смещения русла и выявления закономерностей изменения излучин разных морфологических типов;
- натурные наблюдения за скоростью русловых деформаций по реперам (2005-08 гг.);
- статистическая обработка (корреляционный, регрессионный, дисперсионный анализы) данных с помощью прикладных программ “Excel 2007”, “Statistica 6”.

Положения, выносимые на защиту:

- оценка влияния гранулометрического состава, сцементированности гидроксидами железа, развитости корневой системы травянистой растительности на сопротивление размыву руслоформирующих грунтов;
- анализ эмпирических зависимостей между сопротивлением размыву и инженерно-геологическими характеристиками (сцеплением и углом внутреннего трения) руслоформирующих грунтов;
- характеристика основных направлений и оценка интенсивности плановых переформирований русла Десны в среднем течении в конце XX - начале XXI вв.;
- анализ влияния сопротивления размыву руслоформирующих грунтов на интенсивность горизонтальных деформаций;
- оценка потенциальной устойчивости бортов русла к размыву на локальном уровне.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на второй всероссийской научно-практической конференции “Эколого-географические исследования в речных бассейнах” (Воронеж, 2004); на пятом (Волгоград, 2006), шестом (Курск, 2008) семинарах молодых ученых по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов; на международной научно-практической конференции “Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов” (Брянск, 2007); на ежегодных научных конференциях Брянского государственного университета (2005, 2006, 2007); на областном конкурсе научных работ аспирантов и молодых ученых “Современные научные достижения Брянск - 2008” (Брянск, 2008; работа была отмечена дипломом 1-ой степени в номинации “География. Геология”).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 статей и тезисов докладов, в т.ч. 1 статья в источнике, рекомендованном ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 9 приложений; изложена на 172 страницах, включая 16 таблиц, 28 рисунков, списка 154 библиографических наименований.

Автор выражает глубокую ***благодарность*** научному руководителю д.г.н., профессору Г.В. Бастракову за определение направления и организацию научных исследований; к.г.н., доценту Г.В. Лобанову за ценные замечания и советы; к.с/х.н., доценту Г.В. Чекину, за помощь в проведении экспедиционных и лабораторных работ, а также аспирантам и студентам естественно-географического факультета за участие в полевых исследованиях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. В главе рассмотрены общие закономерности русловых процессов, дан критический анализ существующих моделей оценки относительной устойчивости русла.

К настоящему времени предложен довольно большой ряд моделей (показателей) устойчивости русла. Элементарные русловые деформации, проявляющиеся в движении отдельно взятой частицы, лежащей на дне, позволяют оценить критические скорости течения (размывающая, неразмывающая, незаиляющая). Для определения критических скоростей потока были предложены многочисленные формулы (М.А. Великанов (1954), Л.Г. Гвелесиани (1939), Е.А. Замарин (1951), В.С. Кнороз (1962), Г.И. Шамов (1959), И.В. Егiazаров (1960), В.Н. Гончаров (1962), А.М. Латышенков (1971), Б.И. Студеничников (1964), Ц.Е. Мирцхулава (1988) и др.).

Интегральной оценкой относительной устойчивости русла являются коэффициенты (индексы) стабильности, представляющие собой соотношение значений благоприятствующих (гидравлические характеристики потока) и препятствующих (свойства грунтов, слагающих его ложе) размыву. Показатели устойчивости русла были предложены В.Н. Гончарым (1938), М.А. Великаным (1948, 1958), В.М. Маккавеевым (1948), Н.И. Маккавеевым (1969), Н.А. Ржаницыным (1960, 1985), С.Т. Алтуниным (1962), К.В. Гришаниным (1972), И.Ф. Карасевым (1975), Се-Дзенхеном (1993), А.Г. Ободовским (2001) и др.

В качестве характеристик потока, благоприятствующих размыву, используются: скорость течения (придонная, динамическая), уклон, глубина, ширина русла, гидравлический радиус русла. Важнейшими факторами, определяющим характер и интенсивность русловых деформаций, являются показатели водности (расходы воды: средний многолетний, средний максимальный, среднегодовой, руслоформирующий). Использование этих показателей достаточно обосновано, хотя и ведутся дискуссии относительно выбора и метода их расчета (Маккавеев, 1955; Антроповский, 1970; Лапшенков, 1979; Карасёв, 1986; Шенберг, 1990; Дарбутас, 2005).

За показатель, препятствующий размыву русла, принимаются средний геометрический размер частиц слагающих ложе потока (D или d , мм); гидравлическая крупность частиц ω (мм/с, мм/мин); высота выступов шероховатости Δ (мм, м). Данные показатели удобны и допустимы при оценке относительной устойчивости русла в региональном плане. На локальном уровне их использова-

ние сопровождается некоторыми недостатками.

Во-первых, с физической точки зрения, использование показателя d в формулах расчета устойчивости русла сводит последние к оценке устойчивости отдельно взятой частицы (Ржаницын, 1985; Чалов, 2008), величина которой характеризует устойчивость русла опосредованно.

Во-вторых, исходя из математической модели, реки с меньшим диаметром частиц, слагающих ложе потока, являются менее устойчивыми. Реально величина показателя d не позволяет учесть разные типы связей между отдельностями: в рыхлых породах доминируют силы внутреннего трения, в связных – к внутреннему трению добавляются силы сцепления (Ломтадзе, 1970; Бастраков, 1994).

В-третьих, высокая неоднородность руслоформирующих наносов по гранулометрическому составу создает сложности с выбором величины d . Средний геометрический размер частиц, слагающий ложе потока $d_{ср}$, является абстрактной величиной, не отражающей местных (локальных) особенностей мехсостава грунтов.

Глава 2. В данной главе рассмотрены основные *факторы развития горизонтальных русловых деформаций среднего течения р. Десна*.

Река Десна – первый по длине (общая длина - 1189 км) и второй по величине бассейна (площадь водосбора - 88,9 тыс. км²) левобережный приток Днепра. Район исследования охватывает среднее течение р. Десна от устья р. Габьи до пгт. Белая Березка, общей протяженностью 320 км. Падение реки в пределах исследуемого участка – 31,6 м, уклон - 0,11‰. Площадь водосбора 27,0 тыс. км².

Гидрологический режим. По внутригодовому распределению стока Десна относится к рекам восточно-европейского типа. Сток Десны формируется при значительной доле снеговых вод, на которые приходится около 50% общего стока. Доля грунтовых вод составляет порядка 30–35%; дождевое питание - не превышает 10–15%. В среднем течении р. Десна имеет следующие характеристики гидрологического режима (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики гидрологического режима р. Десна в среднем течении (по г/п Брянск)

Н _{max} по- ловодья, м БС	Низший уровень, м БС,		Q _{max} за год, м ³ /с	Q _{min} , м ³ /с		Дата весеннего ледохода (вскрытие)	Дата начала ле- доставы
	зимний	летний		зимний	летний		
147.12	143.13	142.96	988,0	21.3	28.0	30.03-02.04	25.11-04.12

Геолого-геоморфологические особенности долины.

В орографическом отношении долина Десны является частью Приднепровской низменности. Морфологическими особенностями долины являются асим-

метрия и значительная ширина (до 40 км).

Ширина поймы достигает 5 км ($10 < B_n/B_p < 40$), высота изменяется в пределах 1,5 - 5,0 м над меженным урезом реки и в целом уменьшается вниз по течению. Пойма двусторонняя (реже односторонняя) сегментно-гривистая, сложена песчано-супесчаными, супесчано-суглинистыми отложениями, что определяет свободные условия развития русловых деформаций и формирование преимущественно меандрирующего широкопойменного русла.

Положение и морфология долины, морфодинамические типы русла Десны в значительной степени определяется тектоническими особенностями территории.

Морфодинамические типы русла. Основные морфодинамические типы русла средней Десны и их долевое соотношение представлены в таблице 2.

Прямолинейное неразветвленное русло - приурочено к линейным структурам, совпадающим с разломами кристаллического фундамента и к флексурам осадочного чехла; разветвленное – к расширению долины в областях интенсивного опускания.

Таблица 2

**Распределение морфодинамических типов русла в среднем течении Десны
(устье р. Габья – пгт. Белая Березка)**

Тип русла	Разновидности морфодинамических типов	% от общей длины	% от длины данного типа
Относительно прямолинейное неразветвленное	с двусторонней поймой	6	37
	с односторонней поймой и коренным берегом	10	63
Меандрирующее	свободные излуины	59	87
	вынужденные и адаптированные излуины	9	13
Разветвленное	пойменно-русловое	16	-

По геолого-геоморфологическим условиям формирования русла и морфодинамическим типам исследуемый отрезок русла Десны разделен на три участка (рис.).

Почвенный и растительный покров бассейна. Долина на исследуемом отрезке пересекает юг подзоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов. Естественные ландшафты на водоразделах сохранились фрагментарно. Пойменные ландшафты слабо изменены антропогенной деятельностью: преобладают закустаренные луга, встречаются пойменные дубравы.

Антропогенные факторы. На русловые деформации Десны непосредственно влияют: зарегулирование стока; карьерные разработки в пределах русла и поймы; организация транспортных коммуникаций, берегоукрепительные работы.

Глава 3. Глава включает обоснование методики исследования русловых

деформаций; оценке интенсивности горизонтальных деформаций русла Десны в среднем течении и определению направлений его переформирования.

Программа исследований деформаций русла включает следующие задачи: измерение морфометрических параметров излучин; оценка среднемноголетних продольных и поперечных скоростей смещения русла; натурные наблюдения за русловыми деформациями; выявление направлений морфологических изменений излучин.

Морфометрические параметры излучин: шаг (L), длина по руслу (l), стрела прогиба (h), радиус кривизны (r) и относительные показатели степени развитости $(l/L)_{cp}$ и кривизны (r/h) определены по топографическим картам (состояние на середину 80-х годов 20 века) и космическим снимкам (состояние на 1-е десятилетие 21 века) с помощью программных средств пакетов Professional 7.5 и Easy Trace 7.3.

Оценка скорости плановых переформирований русла Десны за многолетний период выполнена нами для свободных и вписанных излучин широкопойменного русла Десны. Проведён сравнительный анализ скорости деформаций русла по выделенным участкам и типам излучин.

Наиболее активные переформирования (увеличение l на 6,6% и $(l/L)_{cp}$ на 20,5%; сокращение r/h на 23%) наблюдаются на участке, с преобладанием разветвлённого русла (3-ий на рис.). Наиболее вероятно это связано со строением поймы, сложенной здесь песчано-супесчаными отложениями и высокой долей сегментных излучин (более 80%) для которых характерны интенсивные плановые переформирования русла.

Минимальные плановые переформирования (l уменьшилась на 0,6%; r/h сократился на 12%) характерны для участка с относительно высокой долей адаптированного русла (2-ой на рис.).

В целом увеличение на всех участках средних значений показателя $(l/L)_{cp}$ привело к росту средних значений их кривизны (величина показателя r/h уменьшились). Наблюдается трансформация излучин в более развитые.

Свободные излучины разделены нами на четыре группы по величине степени развитости: 1) от 1,15 до 1,40; 2) от 1,40 до 1,70; 3) от 1,70 до 2,00; 4) более 2,00. Первые три группы объединяют сегментные излучины, четвертая группа включает излучины остальных видов (синусоидальные, омеговидные, пальцеобразные).

Наиболее интенсивно изменяются параметры пологих и развитых сегментных излучин, что обусловлено максимумом эрозионной и транспортирующей способности потока в этом интервале значений l/L (1,15 – 1,70). На участке

устье р. Габья – устье р. Болва (1-ый участок, рис.) скорости плановых перестроений сегментных развитых излучин составляют: L и r сократились с интенсивностью 0,2 м/год; h и l увеличились на 0,5 и 1,2 м/год, соответственно. Вниз по течению интенсивность русловых деформаций возрастает. На участке устье р. Нерусса – пгт. Белая Березка шаг сегментной пологой излучины L и r сокращаются со скоростью 1,4 и 1,2 м/год, соответственно; h и l увеличились на 2,0 и 4,8 м/год, соответственно.

Наименьшие изменения параметров характерны для излучин со значениями показателя степени развитости l/L более 2,00. Здесь практически отсутствуют изменения параметра r . Значения L и h на отдельных участках не изменяются. Однако в ряде случаев наблюдается активизация русловых деформаций за счет развития вторичных излучин на крыльях омеговидных; искривления прямолинейных вставок крупных пальцеобразных, реже синусоидальных излучин.

Интенсивность продольных и поперечных скоростей размыва берегов свободных излучин возрастает вниз по течению, изменяясь для продольной составляющей от 1,8 до 2,8 м/год и поперечной – от 1,3 до 2,4 м/год. Характерно, что продольные скорости всюду превышают поперечные. Это следствие широкого распространения на средней Десне пологих сегментных излучин (около 35%).

Аналогичная закономерность прослеживается по данным наблюдений за реперами (2005-08 гг.), где скорости отступления берегов существенно изменяются (от 0,1 до 4,0 м/год), а средние темпы смещения береговой бровки возрастают вниз по течению (от 0,7 до 1,0 м/год)

Морфологические изменения *излучин* Десны за период с конца XX по начало XXI вв. разделены нами на следующие основные группы (направления).

1. Трансформации сегментных излучин по “классической схеме”.
2. Преобладающее продольное смещение излучин:
 - равномерное смещение крыльев излучины;
 - неравномерное смещение крыльев излучины.
3. Усложнение излучин в плане:
 - развитие пальцеобразных излучин;
 - развитие крутых омеговидных излучин.
4. “Сжатие” излучин.
5. Спрявление русла:
 - спрявление одиночных излучин;
 - спрявление серии излучин. выделяют до четырех “видимых” террас

Деформации *прямолинейных неразветвленных отрезков* контролируемых коренным склоном долины заключаются в медленном (до 0,5 м/год) смещении русла в сторону последнего. Прямолинейные неразветвленные участки русла в пойменных берегах трансформируются путем усложнения их в плане – появляются первичные изгибы с l/L менее 1,15.

Глава 4. В главе дана *оценка сопротивления размыву руслоформирующих грунтов* Десны в среднем течении, как показателя их прочностных свойств; выявлены и оценены особенности руслоформирующих грунтов, влияющие на их сопротивление размыву.

Определение прочностных характеристик пойменных отложений выполнено на 31 ключевом участке (створе). Изучение прочностных свойств руслоформирующих грунтов включает следующие виды работ: описание разрезов пойменных и террасных отложений; полевое определение сопротивления размыву руслоформирующих грунтов; гидрометрические исследования русла (измерение ширины, глубины потока, скорости течения, вычисление расхода воды).

Пойменные разрезы заложены в центральных частях фронтов размыва на вогнутом подмываемом берегу. При описании слоёв отмечались существенные для выбранной методики характеристики: гранулометрический состав (метод пипетки в варианте Качинского), плотность, сцементированность, развитость корневой системы растений, наличие органических остатков.

Исследование прочностных свойств руслоформирующих грунтов выполнено методом свободной компактной струи (Бастраков, 1972, 1994). Потенциальная устойчивость к размыву грунтов берегового откоса разного литологического строения определялась показателем сопротивления размыву R (размерность - ньютоны).

Показатель выражается отношением мощности размывающей струи к скорости размыва:

$$R = N / V_p = N t_p / l_p, \quad [1]$$

где R – сопротивление размыву грунтов, Н; N – мощность струи на выходе из насадка, Вт; V_p – средняя скорость размыва, м/с; t_p – время размыва, с; l_p – глубина (длина) размыва, м.

Метод обоснован с позиции гидравлики и удовлетворяет теории размерностей физических величин.

Гранулометрический состав и сопротивление размыву. По результатам гранулометрического анализа в среднем течении Десны нами выделены следующие разновидности руслоформирующих грунтов: рыхло- и связнопесчаные,

супесчаные, легко-, средне- и тяжелосуглинистые, легкоглинистые. Среднее значение R_{cp} увеличивается от песчаных отложений к суглинистым: песчаные R_{cp} – 324Н (рыхлопесчаные – 236Н, связнопесчаные – 423Н); супесчаные R_{cp} – 888Н; суглинистые R_{cp} – 1487Н. Глинистые грунты для поймы Десны не типичны.

Коэффициент корреляции между содержанием в пойменных отложениях физической глины и сопротивлением размыву составляет 0,58 - связь умеренная. Невысокое значение коэффициента, по нашему мнению, обусловлено ожелезнением и высокой плотностью сложения отдельных слоёв. Без учёта этих слоёв значение коэффициента корреляции увеличилось до 0,79 (сильная связь).

Ожелезнение и уплотнение определяет значительный разброс величины сопротивления грунтов размыву (табл. 3). Исключение ожелезненных и уплотненных горизонтов приводит к снижению R_{max} и вариационного размаха более чем в 2 раза.

Таблица 3

**Изменение вариационного размаха показателя сопротивления размыву
по группам руслоформирующих грунтов**

Слои по мехсоставу	R_{min}	R_{max} (все слои)	R_{max} (без ожелезненных и плот- ных слоёв)	Вариационный размах (все слои / без ожелезненных и плотных слоёв)
Рыхлопесчаные	110	774	342	664 / 232
Связнопесчаные	116	1174	675	1058 / 559
Супесчаные	229	2269	905	2040 / 676
Легкосуглинистые	760	3913	1365	3153 / 605
Среднесуглинистые	520	3024	1755	2504 / 1235

Наиболее существенно ожелезнение сказывается на прочности связнопесчаных и супесчаных грунтов, у которых она возрастает в 10 раз. В суглинистых грунтах с высоким сопротивлением размыву ожелезнение увеличивает прочность в 5-6 раз. Степень увеличения прочности грунтов определяется формой соединений железа (Зонн и др., 1976; Зонн, 1982). В песчаных грунтах среднего течения Десны ожелезнение проявляется в образовании агрегатов размером от 4-х до 20 см, которые препятствуют активному размыву пойменных отложений. В суглинистых - крупные агрегаты обычно не образуются, их размеры сопоставимы с частицами крупного песка, которые выносятся при размыве.

Растительный покров и сопротивление размыву. Влияние корневой системы луговой растительности на прочностные свойства руслоформирующих грунтов оценивалась сопротивлением размыву (R) почвенно-растительного слоя (ПРС). В разрезах пойменных отложений ПРС имеет высокие значения показателя R (до 3006 Н), что в среднем в 2,2 раза выше, чем у нижележащего

слоя (максимально – до 9,5 раз). Учитывая, что гранулометрический состав ПРС и нижеследующего слоя в большинстве случаев совпадают, мы предполагаем, что именно развитость корневой системы оказывает решающее влияние на высокое сопротивление размыву ($R_{cp} = 1072\text{Н}$) и значительный вариационный размах прочностных свойств ПРС.

Влияние ПРС проявляется в скорости отступления бровки (максимально на незадернованных участках поймы) и морфологических особенностях берегового склона - формировании ниш, карнизов,

Инженерно-геологические характеристики грунтов и сопротивление размыву. Связь между сопротивлением размыву руслоформирующих грунтов и их инженерно-геологическими характеристиками определена для связности c и угла внутреннего трения ϕ (средневзвешенные по мощности слоев). Коэффициент корреляции между R и c составляет 0,70 (связь сильная). Между R и ϕ выявлена отрицательная корреляционная зависимость ($r = -0,75$). Высокая степень связи позволяет выразить отношения R и c , R и ϕ в виде уравнений регрессии.

Высокие прочностные свойства (показатель R_{cp} не опускается ниже 1100 Н) характерны для береговых склонов (створы № 1, 3, 15, 23, 29 на рис.), в строении которых доминируют суглинистые отложения с высокими показателями связности (c более 0,015 мПа). Значения ϕ здесь в среднем составляют 24^0 .

Песчаные и песчано-супесчаные берега (створы № 4, 5, 6, 16, 17, 30, 31) характеризуются относительно низкими значениями сопротивления размыву ($R_{cp} < 400\text{ Н}$), что обусловлено сравнительно невысокими показателями c (менее 0,010 мПа). Значительные величины ϕ (в среднем 28^0) не компенсируют снижение связности грунтов, прочностные свойства последних уменьшаются.

Глава 5. В главе проанализировано влияние сопротивления размыву руслоформирующих грунтов на интенсивность горизонтальных деформаций; выделены классы относительной устойчивости русла.

Возможности корреляционного и регрессионного анализов ограничены для оценки влияния сопротивления размыву пойменных грунтов на скорость отступления берегового склона по следующим причинам. Во-первых, в связи с многофакторностью результатов руслового процесса; во-вторых, с высокой степенью разнообразия их сочетаний. Сопротивление грунтов размыву сильно различается в пространстве - часто, смежные излучины сложены грунтами разного гранулометрического состава. В то же время, расход воды – изменяется постепенно, что обуславливает относительное постоянство мощности потока на зна-

чительных по протяженности отрезках русла, сложенных разными грунтами.

Влияние сопротивления размыву на скорость русловых деформаций оценено нами на качественном уровне в пределах участков, на которых величиной изменения расхода можно пренебречь по сравнению с большими различиями в прочностных характеристиках грунтов. В рамках работы это участки, выделенные по преобладающему морфодинамическому типу русла (рис.)

На отрезке устье р. Габья - устье р. Болва, створы № 1–11 $Q_{ср\max}$ изменяется в 1,7 раза (от 145,1 до 253,0 м³/с). На данном участке прочностные свойства изучались для пойменных отложений свободных излучин. Продольные скорости отступления изменяются в 7 раз (от 0,5 до 3,5 м/год), поперечные – в 5 раз (от 0,5 до 2,5 м/год) (табл. 4). Это в значительной мере обусловлено отличиями руслоформирующих грунтов по гранулометрическому составу и величине сопротивления размыву, которая изменяется от 330 до 2557Н, то есть в 7,7 раз.

Минимальная скорость отступления берегов (в среднем 1,5 м/год) наблюдается на участках поймы, сложенных суглинистыми грунтами (створы № 1, 2, 3), для которых характерны высокие показатели сопротивления размыву (от 788 до 2557Н).

Скорость смещения увеличивается на участках поймы, сложенных песками (створы № 4, 6, 9): продольное смещение достигает 3,5 м/год; поперечное - 2,5 м/год. Высокая интенсивность русловых деформаций обусловлена относительно низким сопротивлением размыву песков (от 330 до 402Н).

Русло, блуждающее в пойменных отложениях сложного гранулометрического состава, характеризуется увеличением скорости отступления берегов (продольных - с 1,0 до 3,5 м/год, поперечных – с 0,5 до 2,5 м/год) в соответствии с уменьшением их прочностных характеристик (с 2004 до 827Н). Закономерность нарушается в створе № 11, расположенном в черте г. Брянска, где проводимые мероприятия по сдерживанию русловых деформаций (постройка берегоукрепительных сооружений, лесопосадка) “гасят” возможные скорости размывов берегов. Интенсивность горизонтальных деформаций Десны в Брянске при сопротивлении размыву грунтов 530Н составляет менее 0,5 м/год (поперечное смещение) и 1,5 м/год (продольное).

Показатель степени развитости свободных излучин на отрезке устье р. Габья - устье р. Болва в среднем изменяется в 1,22 раза. Максимальные изменения характерны для створа № 9, представленного песчаными грунтами (402Н), где показатель I/L увеличился в 2,19 раза. Последнее - результат сужения шпоры излучины (со скоростью 3,5 – 4,0 м/год), за счет которого сегментная излучина

трансформировалась в пальцеобразную. Минимальные переформирования русла, менее чем в 1,1 раза, приурочены к участкам, сложенным суглинистыми (створ № 1) и смешанными грунтами (створ № 7), сопротивление размыву которых превышает 2000Н.

На отрезке устье р. Болва - устье р. Нерусса среднемаксимальный расход воды увеличивается вниз по течению в 1,9 раза (от 315,8 до 592,5 м³/с). Характер и интенсивность русловых деформаций обусловлены чередованием свободных и адаптированных форм широкопойменного русла. Величина **R** определена для пойменных уступов свободных и адаптированных излучин, сложенных грунтами разного гранулометрического состава, сопротивление размыву которых изменяется в 5,7 раза (от 327Н до 1853Н) (табл. 4).

Скорость отступления берегов свободных излучин относительно невелика и незначительно изменяется на протяжении всего исследуемого отрезка. Поперечное смещение составляет 1,5–2,0 м/год, продольное - 1,5-3,5 м/год (в среднем 2,0). Это результат общего смещения русла Десны в направлении правого коренного склона долины, что обуславливает высокую долю адаптированных форм русла (45%). Свободные излучины (створы № 12, 15, 19, 21, 22) оказываются “зажатыми” между адаптированными формами русла: вписанными (створ № 16) или вынужденными (створы № 20, 23) излучинами; отрезками прямолинейного русла (створ № 18).

Интенсивность размыва берегов в пределах адаптированных участков изменяется: продольная - от 1,0 до 3,5 м/год (в 3,5 раза), поперечная – от 1,0 до 4,0 м/год (в 4 раза). Значительные скорости смещения обусловлены активной деформацией смежных излучин. Так вписанная омеговидная (створ № 16) и вынужденная пальцеобразная (створ № 23) излучины трансформируются главным образом за счет развития смежных излучин, которые, смещаясь, вовлекают в этот процесс верхние крылья адаптированных излучин.

Продольные скорости размыва берегов в створе № 23 составляют менее 1,0 м/год, а поперечные – до 2,0 м/год. Сопротивление размыву здесь определялось для отложений бечевника коренного склона и составило 1267Н. Поперечный размыв является результатом разрушения пойменных грунтов в вершине излучины. На створе № 16 значительная высота подмываемой в нижнем крыле песчано-супесчаной террасы (16 м) обуславливает небольшие продольные скорости размыва (около 1,0 м/год) даже при его низкой потенциальной прочности (399Н). Продольное смещение за счет активной деформации смежной располо-

женной выше свободной излуины составляет 1,5 – 2,0 м/год.

В целом на участке устье р. Болва - устье р. Нерусса преобладает продольное смещение свободных излучин, а также “сжатие” и “заваливание” адаптированных излучин сложной формы (пальцеобразных, омеговидных). Значительная доля адаптированных форм русла определяет невысокие изменения показателя степени развитости (в среднем в 1,12 раза).

На отрезке от устья р. Нерусса до пгт. Белая Березка в условиях пойменной многорукавности $Q_{срmax}$ увеличивается в 2,5 раза. Здесь прочностные свойства изучались для пойменных отложений свободных излучин (створы № 24, 25, 27, 28, 29) и грунтов песчаных террас вписанных излучин (створы № 26, 30, 31) (табл. 4).

Пойма свободных излучин сложена отложениями разного мехсостава, показатель $R_{см}$ которых изменяется менее чем в 2 раза (от 615 до 1147Н). Продольные скорости смещения русла увеличиваются в 4 раза (от 1,0 до 4,0 м/год), поперечные – в 2,5 раза (от 1,0 до 2,5 м/год). Высокие прочностные свойства суглинистых грунтов (1147Н, створ № 29) обуславливают относительно небольшие скорости отступления берегов: продольные – 1,5 – 2,0 м/год, поперечные – 2,5 м/год.

Низкие значения сопротивления размыву песчаных отложений на створах № 26, 30, 31 (216Н, 169Н, 156Н, соответственно) определяют большие поперечные скорости размыва берегов – до 4,0 м/год даже при значительной высоте размываемых песчаных террас (3,5, 5,1, 7,6 м, соответственно).

В среднем на отрезке устье р. Нерусса - п. Белая Березка показатель степени развитости изменяется в 1,27 раза. Несмотря на относительно высокое сопротивление размыву (больше 1000Н) наибольшие трансформации (более чем в 1,3 раза) наблюдаются на свободных излуинах со сложными (створ № 27) и суглинистыми грунтами (створ № 29). Это обусловлено интенсивным сужением шпор излучин (со скоростью 5,0 и 2,5 м/год, соответственно), в результате которого синусоидальные излуины трансформируются в пальцеобразные.

В целом в условиях пойменной многорукавности влияние двух ведущих факторов руслового процесса (прочностных свойств грунтов и мощности потока) на интенсивность переформирования русла прослеживается достаточно четко. Продольные скорости смещения русла возрастают по мере увеличения мощности потока; поперечные – уменьшаются при увеличении сопротивления грунтов размыву. Для других морфодинамических типов подобной четкой зависимости не наблюдается.

Таблица 4

Характеристика створов

№ створа	тип грунта по гранулометрическому составу	$R_{сст}$, Н	$Q_{срmax}$, м³/с	увеличение $\Delta l/L$, раз	смещение русла (1984 - 2005 гг.), м/год		геолого-геоморфологический тип русла
					продольное	поперечное	
устье р. Габья - устье р. Болва							
1	суглинистый	2557	145,1	1,04	1,5	менее 0,5	свободная излучина
2	суглинистый	788	157,9	1,16	1,5 - 2,0	менее 0,5	свободная излучина
3	суглинистый	1682	158,6	1,12	1,5	1,0	свободная излучина
4	песчаный	330	209,2	1,06	0,5	2,0 - 2,5	свободная излучина
5	песчано-супесчаный	330	210,5	1,11	2,0 - 2,5	2,0 - 2,5	свободная излучина
6	песчаный	346	222,7	1,14	2,5 - 3,0	2,0 - 2,5	свободная излучина
7	сложный	2004	249,7	1,07	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	свободная излучина
8	сложный	1016	251,0	1,11	2,0 - 2,5	1,5 - 2,0	свободная излучина
9	песчаный	402	252,4	2,19	3,0 - 3,5	2,0 - 2,5	свободная излучина
10	сложный	827	255,1	1,25	3,0 - 3,5	2,0 - 2,5	свободная излучина
11	сложный	530	253,0	1,01	1,5	менее 0,5	свободная излучина окружена адаптированными
устье р. Болва - устье р. Нерусса							
12	сложный	383	315,8	1,01	1,5 - 2,0	2,0	свободная излучина окружена адаптированными
13	сложный	855	325,5	1,30	2,5 - 3,0	1,5 - 2,0	свободная излучина
14	суглинистый	770	372,4	1,11	2,5 - 3,0	1,5 - 2,0	свободная излучина
15	сложный	1853	403,8	1,29	3,0 - 3,5	1,5 - 2,0	свободная излучина, смежная излучина адаптированная
16	песчано-супесчаный	399	405,2	1,06	1,0	1,5 - 2,0	адаптированная излучина
17	песчано-супесчаный	327	405,6	1,04	3,0 - 3,5	1,5 - 2,0	свободная излучина
18	сложный	1082	419,3	-	3,0 - 3,5	1,5 - 2,0	прямолинейное русло вдоль коренного склона
19	песчаный	555	424,8	1,05	2,5 - 3,0	2,0	свободная излучина окружена адаптированными
20	сложный	805	429,0	1,00	3,0 - 3,5	менее 1,0	адаптированная излучина
21	песчаный	693	508,0	1,06	2,5 - 3,0	1,5 - 2,0	свободная излучина окружена адаптированными
22	песчаный	561	591,1	1,18	2,0 - 2,5	1,5 - 2,0	свободная излучина, смежная излучина адаптированная
23	сложный (с участием г.п. склона долины)	1267	592,5	1,10	менее 1,0	1,5 - 2,0	адаптированная излучина
устье р. Нерусса – пгт. Белая Березка							
24	сложный	920	782,4	1,16	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	свободная излучина
25	сложный	615	835,8	1,26	2,0 - 2,5	2,0 - 2,5	свободная излучина
26	песчаный	216	853,8	1,27	более 3,5	3,5	адаптированная излучина
27	сложный	1046	858,6	1,49	более 4,0	1,0	свободная излучина
28	сложный	856	865,6	1,18	более 4,0	2,0	свободная излучина
29	суглинистый	1147	340,3	1,34	1,5 - 2,0	2,5	свободная излучина
30	песчаный	169	636,2	1,20	1,5 - 2,0	3,0 - 3,5	адаптированная излучина
31	песчаный	156	637,6	1,29	1,5 - 2,0	3,5 - 4,0	адаптированная излучина

Таким образом, в пределах одного морфогенетического типа русла различия в прочностных свойствах грунтов могут быть довольно значительными, соответственно отличаются скорости плановых переформирований.

Классы относительной устойчивости русла. Для выражения связи интенсивности русловых деформаций с руслоформирующими факторами предложен показатель относительной устойчивости K_u :

$$K_u = R_{cm} / Q_{срmax} \quad [2]$$

где R_{cm} – сопротивление размыву руслоформирующих грунтов, Н; $Q_{срmax}$ – среднемаксимальный расход воды, м³/с.

Возможность использования показателя [2] проверена статистическим анализом связи K_u со среднемноголетними скоростями продольного и поперечного смещения русла за 20-ти летний период (конец XX–начало XXI вв). Корреляционная зависимость между K_u и темпами плановых переформирований русла сильная, отрицательная (коэффициент корреляции - 0,64).

Ключевые участки разделены нами по значению K_u на 6 классов (групп) по методу Стерджесса.

Распределение значений показывает, что в данных условиях большая часть значений показателя K_u относится к интервалу 0 - 5,0. Значения более 5,0 встречаются относительно редко, что позволяет объединить классы с третьего по шестой включительно в один (третий класс). Интенсивность смещения береговой бровки здесь минимальная (менее 1,5 м/год). Это обусловлено высокими прочностными свойствами руслоформирующих грунтов (R_{cm} – в среднем 1750Н) при невысоких расходах воды ($Q_{срmax}$ – < 250 м³/с). Ситуация типична для свободных излучин, развивающихся в суглинистых отложениях (створы № 1-3, 7).

Вторая группа (значения K_u от 1,6 до 5) объединяет створы со средними значениями размыва (2,0 – 3,0 м/год) с вероятностью 90%.

Только первый класс включает створы с максимальной интенсивностью размыва берегов (более 3,0 м/год). На слабый размыв (менее 2,0 м/год) здесь приходится 22% створов. Высокие темпы плановых переформирований русла обусловлены благоприятным сочетанием факторов – низкая прочность грунтов (R_{cm} – в среднем 490Н) при высоком расходе ($Q_{срmax}$ – до 865 м³/с). Величина K_u изменяется здесь от 0,2 до 1,6. Минимальные значения K_u (< 1,0) при интенсивности русловых деформаций 4,0 м/год характерны для вписанных и свободных излучин в песчаных грунтах. Участки слабого размыва в пределах 1-го класса связаны с влиянием ряда прочих факторов: значительной высотой подмываемого бе-

рега (створ №16); высокой степенью развитости излучины ($I/L > 2,5$), (створы № 12, 22, 25); усложнением скоростного поля за счет распластанности потока, когда в вершине излучины ширина русла возрастает на 25% по отношению к ширине русла на крыльях (створ № 4) или впадения притоков (створ № 24).

ВЫВОДЫ

1. Развитие горизонтальных русловых деформаций в среднем течении Десны определяются гидрологическим режимом, геолого-геоморфологическими особенностями долины, почвенным и растительным покровами, антропогенными факторами.

Особенности гидрологического режима определяют максимальную интенсивность русловых деформаций в периоды половодий и паводков. Влияние геолого-геоморфологического фактора проявляется в соотношении морфогенетических и морфодинамических типов русла на отрезках течения; в скорости размыва берегов и характере русловых деформаций. Влияние почвенно-растительного покрова существенно для невысоких пойменных берегов, где корневая система укрепляет грунты, препятствуя смещению береговой бровки.

Влияние антропогенных факторов носит локальный характер с максимальным проявлением в крупных населенных пунктах (гг. Брянск, Трубчевск) и на участках мостовых переходов. На большей части русла антропогенные факторы не оказывают существенного влияния на особенности проявления русловых процессов Десны.

2. Прочностные свойства руслоформирующих грунтов отражает комплексный показатель сопротивления размыву в размерности силы, учитывающий гранулометрический состав, сцементированность, влияние корневой системы. Величина сопротивления размыву варьирует в широких пределах: от 110Н у рыхлопесчаных отложений до 3910Н у сцементированных легкосуглинистых грунтов.

3. Между сопротивлением размыву, сцеплением и углом внутреннего трения выявлена тесная корреляционная зависимость. Коэффициент парной корреляции между сопротивлением размыву и сцеплением - 0,70; между сопротивлением размыву и углом внутреннего трения - -0,75.

Значения сопротивления размыву могут быть использованы для предварительной (на начальных этапах проектирования) оценки сцепления и угла внутреннего трения руслоформирующих грунтов в естественном залегании, где их определение является дорогостоящим и трудоемким.

4. Развитие сегментных излучин по “классической схеме”, является доминирующим направлением горизонтальных деформаций русла Десны в среднем течении. На него приходится более 1/2 всех плановых переформирований. Вторым (22%) типом плановых переформирований излучин является преобладающее продольное смещение излучин. На усложнение излучин в плане приходится 8% деформаций русла. Для некоторых отрезков течения характерно «сжатие» излучин и спрямление русла.

Сегментные излучины преобладают на отрезках течения, сложенных характерными для поймы Десны непрочными песчаными и супесчаными грунтами. Продольное смещение излучин, усложнение их в плане и «сжатие» обычно связано с участками адаптированного русла, протяженность которого невелика. Спрявление встречается на разных морфодинамических типах русла.

Скорость плановых переформирований русла Десны в среднем течении изменяется от 0,1 (на адаптированных прямолинейных неразветвленных отрезках русла, контролируемых коренным склоном долины) до 5,0 м/год (вписанные излучины) и в целом возрастает вниз по течению.

5. На основании пространственного анализа ведущих факторов руслоформирования на локальном уровне - сопротивления размыву и среднемаксимального расхода воды выделены три группы участков русла с разной потенциальной устойчивостью. Для них определены типичные (вероятные) варианты развития русла.

Первая группа включает участки русла с максимальной интенсивностью размыва берегов (более 3,0 м/год). Относительно высокие темпы плановых переформирований русла обусловлены низкой прочностью руслоформирующих грунтов при значительном расходе воды. Такие деформации характерны для вписанных излучин адаптированного русла, реже свободноеандрирующих участков.

Вторая группа объединяет отрезки русла с разным сочетанием руслоформирующих факторов и средними значениями скорости размыва (2,0 – 3,0 м/год).

Третью группу представляют участки русла с минимальной интенсивностью смещения береговой бровки - менее 2,0 м/год. Относительно небольшие скорости размыва берегов определяются высокой прочностью руслоформирующих грунтов. Это преимущественно свободные излучины, развивающиеся в суглинистых отложениях или адаптированные прямолинейные неразветвленные участки русла.

Публикации

Работы, опубликованные в журналах ВАК

1. Смирнова, Е.А. Влияние прочностных характеристик грунтов на интенсивность русловых деформаций в среднем течении р. Десны / Е.А. Смирнова, Г.В. Лобанов, Г.В. Бастраков // Геоморфология. 2009. - №2. – С. 75-84.

Статьи в других изданиях и материалы научных конференций

2. Бастраков, Г.В. Литологические факторы устойчивости русла Десны / Г.В. Бастраков, Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова // Вестн. БГУ. – Брянск: РИО БГУ, 2006. - № 4. - С. 17-19.

3. Бастраков, Г.В. Новый подход к оценке устойчивости речных русел на примере р. Десны / Г.В. Бастраков, Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова // Юбил. сборник статей профес. БГУ. – Брянск: РИО БГУ, 2005. – С. 65-71.

4. Бастраков, Г. В. Сопротивление пойменных отложений размыву как фактор устойчивости русла / Г.В. Бастраков, Г.В. Лобанов, Е. А. Смирнова // Вестн. – Чебоксары. – 2005. – С. 108-110.

5. Бастраков, Г.В. Проблема оценки гидрологических факторов устойчивости русла / Г.В. Бастраков, Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова, Е.Н. Прудников // Вестн. БГУ. – Брянск: РИО БГУ, 2007. – С. 131-133.

6. Лобанов, Г.В. Устойчивость русла Десны и опасность русловых деформаций / Г.В. Лобанов, Г.В. Бастраков, Е.А. Смирнова // Вестн. БГУ. – Брянск: РИО БГУ, 2005. - № 4 – С. 83-85.

7. Лобанов, Г.В. Опыт использования ГИС-технологий при анализе русловых деформаций / Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова, Е.Н. Прудников // Матер. межд. науч.-практ. конф. 25-27 октября 2007. – Брянск: РИО БГУ, 2007. – С. 248-251.

8. Лобанов, Г.В. Использование ГИС-технологий для оценки интенсивности русловых деформаций / Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова // Вестн. БГУ. – Брянск: РИО БГУ, 2006. - № 4. - С. 63-65.

9. Лобанов, Г.В. Морфология берегового склона как показатель характера и интенсивности размыва / Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова // Матер. VII сем. Молодых ученых. - Общие и прикладные вопросы эрозионных, устьевых и русловых процессов – М.: МГУ, 2008. – С. 200-206.

10. Лобанов, Г.В. Подходы к моделированию некоторых экзогенных процессов на региональном уровне / Г.В. Лобанов, Е.А. Смирнова // - принята к печати - Люблин, 2009.

11. Смирнова, Е.А. Морфологические изменения русла р. Десны в конце XX-начале XXI вв. / Е.А. Смирнова, Г.В. Лобанов // Матер. VI сем. Молодых ученых. - Общие и прикладные вопросы эрозионных, устьевых и русловых процессов – М.: МГУ, 2006. – С. 213-216.

12. Смирнова, Е. А. Анализ динамики горизонтальных деформаций русла Десны в пределах Брянского района Брянской области / Е. А. Смирнова, Г.В. Лобанов, Г.В. Бастраков // Матер. науч.-практич. конф. 18-26 апреля 2007г. – Брянск: БЦНТИ, 2007. – С. 97-100.

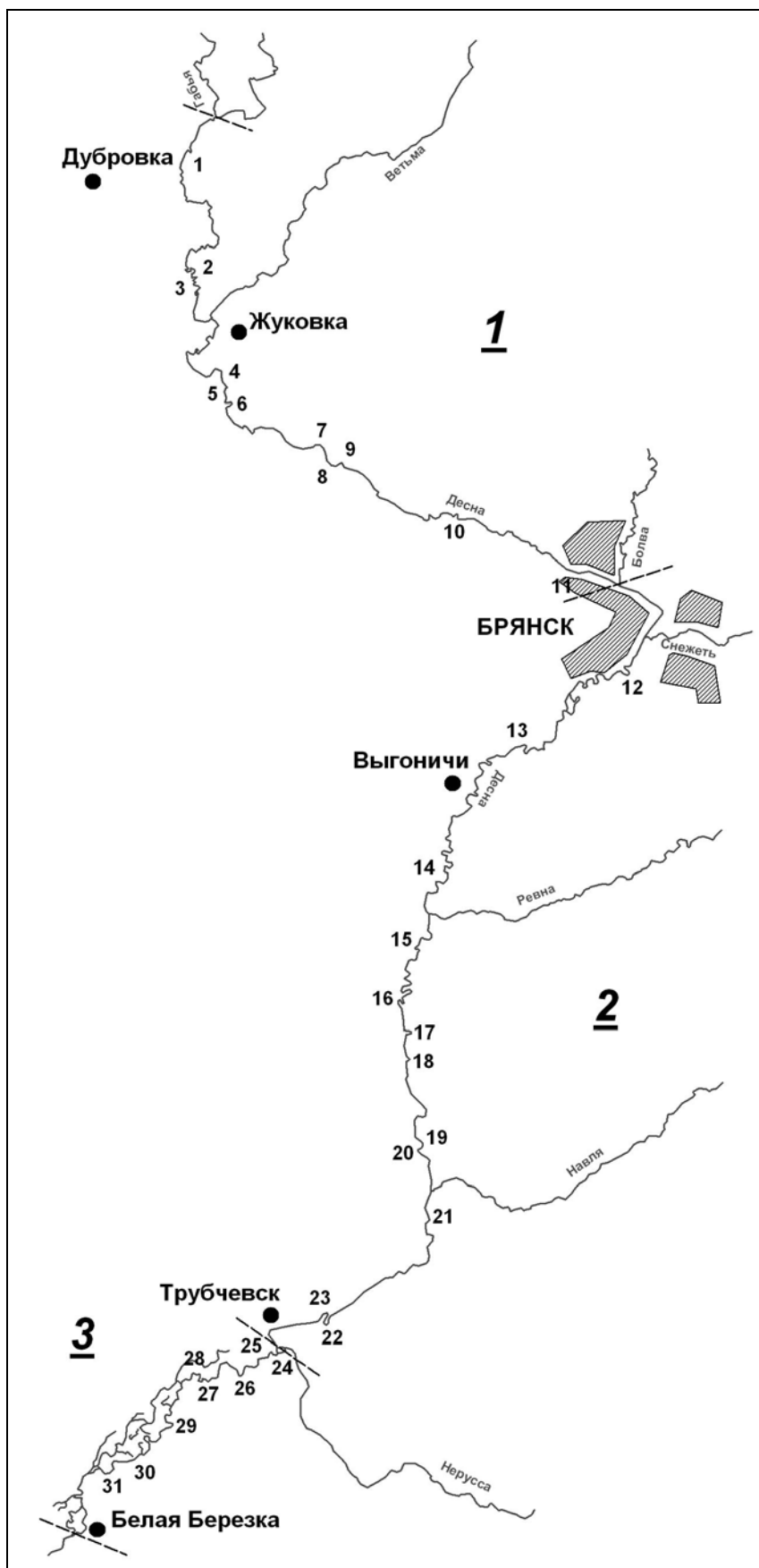


Рис. Расположение створов (1-31) на исследуемом отрезке Десны
и границы выделенных участков (1-3)

----- границы выделенных участков

Подписано в печать 12.11.2009 Формат 60х84 1/16

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ № 652

Отпечатано в подразделении оперативной полиграфии
Брянского института повышения квалификации работников образования
241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, 34а